

非合成連続多主桁橋の冗長性評価における損傷部材のモデル化と荷重条件の影響に関する検討

A study on numerical modeling of damaged member and influence of loading condition for redundancy of a non-composite multi-girder bridge

木村善行*

Yoshiyuki KIMURA

*構造強度学研究室（指導教員：斉木功 准教授，研究指導教員：山本剛大 助教）

2007 年の米国ミネソタ州における高速道路橋の崩落事故を機に，橋梁の冗長性評価の重要性が再認識された。しかし，その後の冗長性評価では，用いられる荷重条件が損傷系に対して最も危険かどうかは十分に検討されていない。そこで本研究では，非合成連続多主桁橋を対象とし，主桁損傷のモデル化の影響を考慮し，損傷系に対して最も危険な荷重条件を調査した。その結果，損傷前と損傷後で最も危険な荷重条件が変化する可能性があり，冗長性評価に用いる荷重条件の設定が重要であると分かった。

Key Words: non-composite multi-girder bridge, redundancy, finite element analysis

1. はじめに

2007 年，米国ミネソタ州にて高速道路橋の中央径間の上路トラス部分に損傷が発生し，橋梁全体が崩落する事故があった。この事故を機に，橋梁の部材損傷後の耐荷性能である冗長性を評価することの重要性が再認識された。しかし，その後の冗長性評価では，損傷系に対して作用させる荷重条件を 1 つに限定し，その荷重条件が損傷系に対して本当に最も危険かどうかは十分に検討されていない¹⁾。冗長性評価において，損傷系に対して最も危険な荷重条件を想定しなければ，冗長性を適切に評価できない。そのため，損傷系に対して最も危険な荷重条件を明らかにする必要がある。また，多主桁橋はトラス橋や少数主桁橋に比べて冗長性が高いと考えられていることから，多主桁橋の冗長性評価に関する研究が少ないのが現状である。しかし，供用されている多主桁橋の数が多いためから損傷事例が数多く報告されており²⁾，多主桁橋の老朽化が進むことを考慮すると，多主桁橋を対象とした冗長性の評価が重要となる。そこで本研究では，非合成連続多主桁橋を対象とし，主桁損傷のモデル化の影響を考慮しながら非線形解析を行うことで，損傷系に対して最も危険な荷重条件を調査した。

2. 解析手法

宮城県に実在する 4 径間連続非合成 5 主桁橋と同規模の橋梁（橋長 183.24m，主桁高 2.3m，主桁間隔 2.35m）を解析対象とした。対象橋梁の断面図を図-1 に示す。3次元有限要素モデルでは材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した。RC 床版のコンクリート・補剛材は平面シェル要素，対傾構・下横構・RC 床版の鉄筋は梁要素でモデル化した。また，主桁・横桁は平面シェル要素と梁要素を使い分けてモデル化し，スラ

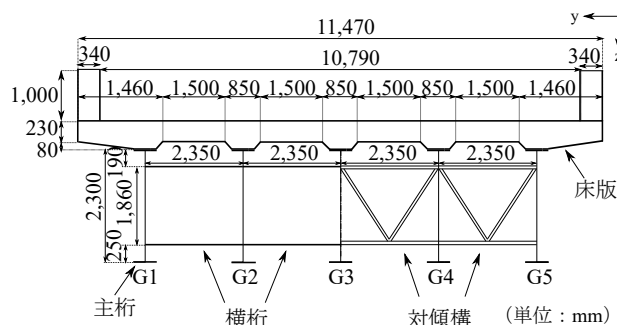


図-1 対象橋梁の断面図

ブアンカーは非線形ばね要素でモデル化した。これらの要素はすべて弾塑性体である。床版のコンクリートは Young 係数および Poisson 比を道路橋示方書に基づいてそれぞれ 23.5GPa，0.17 とし，Drucker-Prager の降伏基準に従うものとした。スラブアンカーの非線形ばね要素は鉛直方向を剛結とし，実験結果³⁾から水平 2 方向のせん断力-ずれ変位関係を図-2 に示すようなトリリニア型とした。残りの部材に用いる鋼材は Young 係数および Poisson 比を道路橋示方書に基づいてそれぞれ 200GPa，0.3 とし，von Mises の降伏基準と線形等方硬化則を用い，弾塑性接線係数が Young 率の 10^{-2} 倍となるように硬化係数を設定した。

損傷に関しては，図-1 の G1 桁が S4 支点付近で発生したき裂損傷によって橋軸方向の連続性を失う状況を想定し，図-3 に示す要素欠損またはスリットで損傷を再現した。また，非合成桁の床版が冗長性に与える影響を調べるために，G1 桁と G2 桁の間の床版に S4 から S5 にかけてスリットを入れたモデルと入れないモデルを用意した。図-4 の B 活荷重の P_1 荷重を第 4 径間支間中央から橋軸方向に移動させ，S4 支点上の G2 桁に最大の

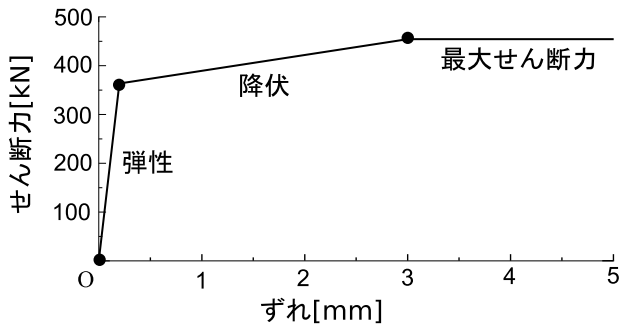


図-2 スラブアンカーのせん断力-ずれ関係

負曲げが作用する荷重条件を調査した。荷重条件は死荷重 (D) を加えた後に L 荷重 (L) を漸増させた。ここで、L 荷重の倍率を荷重パラメータ f として定義し、モデルに作用させる荷重を $D+f \cdot L$ とした。

3. 解析結果

B 活荷重の P_1 荷重が第 4 径間支間中央にある荷重条件に加え、そこから P_1 荷重を床版 1 要素分だけ S5 側へ移動させた荷重条件、床版 1 要素分だけ S4 側へ移動させた荷重条件、第 3 径間支間中央に移動させた荷重条件の 4 種類をモデルに作用させた。その結果として、 f が 1.0 での G2 桁の最大圧縮応力は P_1 荷重を S4 側に移動させた時に大きくなり、 P_1 荷重を第 3 径間上に移動させた時に最も小さくなる傾向が確認された。また、 f が 1.0 での G2 桁の最大圧縮応力は主桁損傷を要素欠損からスリットに変えることで 0.03 % 程増加し、床版にスリットを与えることで 0.8 % 程増加した。

上述の傾向から、主桁損傷をスリットで表したモデルに作用させる荷重条件の P_1 荷重を第 4 径間支間中央から S4 支点側に移動させることで、最も危険な荷重条件を調査した。また、 P_1 荷重を第 3 径間内で移動させた場合に P_1 荷重を第 4 径間内で移動させた場合よりも危険な荷重条件が現れる可能性を無視できないため、第 3 径間支間中央から S4 支点側にも P_1 荷重を移動させて、最も危険な荷重条件を調査した。 P_1 荷重を第 4 径間内で移動させた場合の P_1 荷重の橋軸座標と G2 桁の最大圧縮応力の関係を図-5 に示す。図-5 では、床版にスリットがあるモデルを ss モデル、床版にスリットがないモデルを sns モデルと表記している。図-5 から、 P_1 荷重を第 4 径間支間中央から 6.18 ~ 7.71m だけ S4 支点側に移動させることで、最も危険な荷重条件が現れることが分かる。また、床版にスリットを与えることで、G2 桁の最大圧縮応力の線形解析結果は 1.2 % 程増加し、非線形解析結果は 0.9 % 程増加した。なお、 P_1 荷重を第 3 径間内で移動させた場合の G2 桁の最大圧縮応力の極大値はすべて P_1 荷重を第 4 径間内で移動させた場合の極大値を下回っている。

4. まとめ

- 主桁損傷を要素欠損ではなくスリットで表すことで、より危険側の冗長性を評価できる。

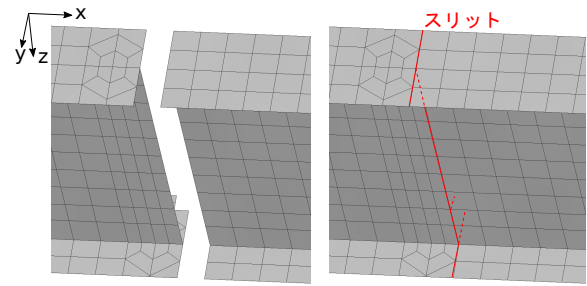


図-3 主桁損傷のモデル化

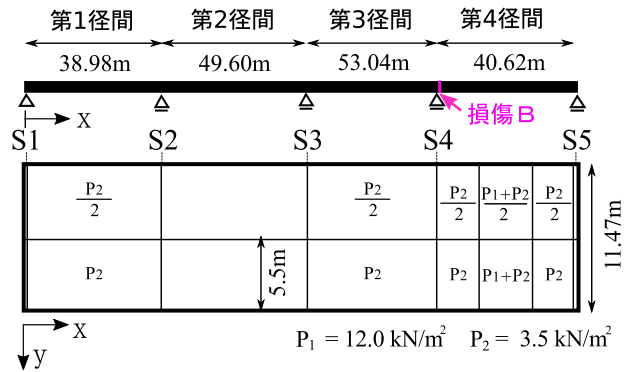


図-4 荷重載荷と損傷位置

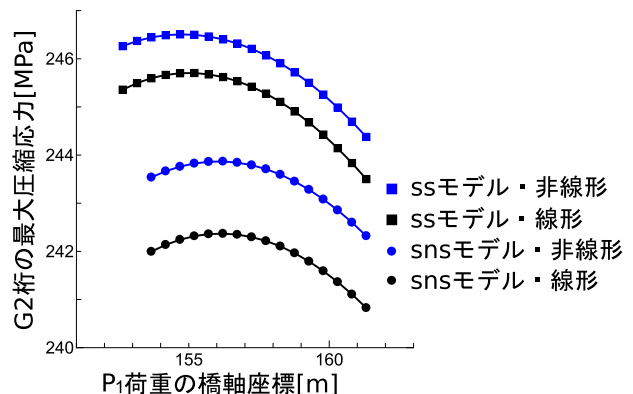


図-5 G2 桁最大圧縮応力 - 第 4 径間の P_1 荷重の橋軸座標関係

- B 活荷重の P_1 荷重を第 4 径間支間中央から S4 支点側に 7m 程移動させることで、最も危険な荷重条件が現れる。

参考文献

- 橋本国太郎, 茅野牧夫, 鈴木康夫, 杉浦邦征, 渡邊英一: 疲労き裂を有する連続鋼桁橋の残存性能に関する解析的研究, 鋼構造論文集, Vol.22, No.85, pp.111-120, 2015.
- 国土交通省: 鋼橋 (上部構造) の損傷事例, 2009. http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo3_1_1.pdf
- 山田真幸, サトーンペンポン, 三木千壽, 市川篤司, 入部孝夫: RC 床版と鋼フランジ間の付着とスラブアンカーによるせん断抵抗の評価, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.1161-1168, 2001.3

(2019 年 2 月 5 日 提出)